



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

출원번호 : 10-2003-0012132
Application Number

출원년월일 : 2003년 02월 26일
Date of Application
FEB 26, 2003

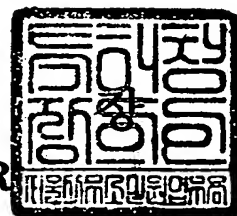
출원인 : 엘지전선 주식회사
Applicant(s)
LG Cable Ltd.



2003 년 07 월 11 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【제출일자】	2003.02.26
【발명의 명칭】	수정화학기상증착공법에서 효율적인 탈수공정을 위한 프리 히팅 방법 및 장치
【발명의 영문명칭】	METHOD AND APPARATUS FOR EFFICIENT DEHYDRATION IN MCVD PROCESS
【출원인】	
【명칭】	엘지전선 주식회사
【출원인코드】	1-1998-000283-2
【대리인】	
【성명】	이상용
【대리인코드】	9-1998-000451-0
【포괄위임등록번호】	2001-018766-3
【대리인】	
【성명】	김상우
【대리인코드】	9-2000-000210-2
【포괄위임등록번호】	2001-018768-8
【발명자】	
【성명의 국문표기】	강영주
【성명의 영문표기】	KANG, Young-Ju
【주민등록번호】	760331-1052420
【우편번호】	140-070
【주소】	서울특별시 용산구 도원동 삼성래미안아파트 104동 1201호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	장기완
【성명의 영문표기】	JANG, Ki-Wan
【주민등록번호】	730719-1901818
【우편번호】	156-815
【주소】	서울특별시 동작구 사당동 91-137
【국적】	KR

【발명자】**【성명의 국문표기】**

박종철

【성명의 영문표기】

PARK, Jong-Cheol

【주민등록번호】

731213-1770310

【우편번호】

430-812

【주소】

경기도 안양시 만안구 안양2동 20-7

【국적】

KR

【심사청구】

청구

【취지】

특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인

이상용 (인) 대리인

김상우 (인)

【수수료】**【기본출원료】**

20 면 29,000 원

【가산출원료】

13 면 13,000 원

【우선권주장료】

0 건 0 원

【심사청구료】

26 항 941,000 원

【합계】

983,000 원

【첨부서류】

1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】**【요약】**

수정화학기상증착(Modified Chemical Vapor Deposition; MCVD) 공법에서 수산기의 제거를 위한 탈수공정의 효율을 높이기 위한 프리히팅 방법은 실리카 입자가 내벽에 증착된 튜브 내에 공급되는 탈수 가스를 600℃~1200℃의 온도로 미리 가열하여 상기 튜브 내의 온도를 500℃ 이상이 되도록 유지하도록 수행된다. 이때, 프리히터는 탈수 가스가 유입되는 튜브의 전단부 부근에 설치될 수도 있고, 가스 공급라인의 소정 위치에 설치될 수도 있으며, 주축대 내부의 가스 공급경로에 설치될 수도 있다. 또한, 프리히터는 열량 조절이 가능하고, 프리히터 주변에는 방열판이 설치된다.

【대표도】

도 8

【색인어】

수정화학기상증착, 탈수, 프리히터

【명세서】**【발명의 명칭】**

수정화학기상증착공법에서 효율적인 탈수공정을 위한 프리히팅 방법 및 장치{METHOD AND APPARATUS FOR EFFICIENT DEHYDRATION IN MCVD PROCESS}

【도면의 간단한 설명】

본 명세서에 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 것이며, 후술하는 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에만 한정되어 해석되어서는 아니된다.

도 1은 종래 기술에 따른 수정화학기상증착(Modified Chemical Vapor Deposition; MCVD) 공법을 위한 장치를 도시하는 개략도.

도 2는 도 1의 장치에 의해 수행되는 증착공정을 설명하기 위한 도면.

도 3은 도 1의 장치에 의해 수행되는 수팅공정을 설명하기 위한 도면.

도 4는 도 1의 장치에 의해 수행되는 탈수공정을 설명하기 위한 도면.

도 5는 도 1의 장치에 의해 수행되는 소결공정을 설명하기 위한 도면.

도 6은 종래 기술에 의한 MCVD 공법의 탈수공정에서 토치의 위치에 따른 튜브 외벽 온도의 분포를 나타내는 그래프.

도 7a 내지 도 7d는 종래의 탈수공정에서 재오염 가능구간이 형성되는 과정을 설명하기 위한 도면.

도 8은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 MCVD 공법용 프리히팅 장치를 도시하는 도면.

도 9는 도 8의 장치에 의한 MCVD 공법의 탈수공정에서 토치의 위치에 따른 튜브 외벽온도의 분포를 나타내는 그래프.

도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 MCVD 공법용 프리히팅 장치를 도시하는 도면.

도 11은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 MCVD 공법용 프리히팅 장치를 도시하는 도면.

도 12는 본 발명을 적용하여 제조된 광섬유의 파장대역별 광손실을 나타내는 그래프.

<도면 주요 부분에 대한 부호의 설명>

20..선반	22..주축대	23..말단축대
24..튜브	26..토치	28..토치급송라인
30..가스주입라인	32..가스배출라인	40,50,60..프리히터
42,62..방열판		

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

- <19> 본 발명은 수정화학기상증착(Modified Chemical Vapor Deposition; MCVD) 공법의 탈수공정에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 MCVD 공법에서 수산기의 제거를 위한 탈수공정의 효율을 높이기 위한 프리히팅 방법 및 장치에 관한 것이다.
- <20> 종래의 기상 증착 방식의 광섬유 제작 방법은 크게 수정화학기상증착(Modified Chemical Vapor Deposition; MCVD) 공법, 외부기상증착(Outside Vapor Deposition; OVD) 공법 및 기상축증착(Vapor Axial Deposition; VAD) 공법의 3가지 방법이 대표적이다. 이 공법들은 극도로 순수한 코어와 클래드를 생성한다는 특징을 갖지만, 1000℃ 이상의 고온을 만족시키는 열원인 O_2-H_2 버너 및 원튜브 내부로 들어오는 가스 중의 불순물은 코어나 클래드의 규소(Si)와 수산기(OH^-)가 결합하여 광손실을 증가시킨다.
- <21> Si-OH는 1385nm 파장대역 부근의 빛을 흡수하여 광손실을 증가시키기 때문에, 1200~1600nm의 파장대역 중의 일부를 사용할 수 없게 된다. 일반적으로 1385nm 파장대역을 사용하기 위해서는 흡수손실이 0.33dB/km 이하가 되어야 한다.
- <22> 1385nm 파장대역의 광손실을 줄이기 위해서, OVD 공법이나 VAD 공법은 실리카 입자를 수트(Soot) 상태로 증착한 후, 내부의 수산기를 제거하는 Cl_2 가스 또는 염소를 포함하는 혼합가스를 1200℃ 정도의 온도로 투입하여 가열함으로써 H-Cl을 형성시킴으로써 OH^- 이온을 효과적으로 제거하는 탈수 공정(Dehydration)을 수행함으로써 문제를 해결할

수 있다. 그러나, MCVD공법은 튜브 내부에 증착을 하기 때문에 탈수공정을 진행하는데 한계를 지닌다.

<23> 도 1을 참조하면, 종래의 MCVD 공법은 선반(10)의 주축(12) 사이에서 SiO_2 를 주성분으로 하는 튜브(14)가 회전하고, 튜브(14)의 아래에는 산소-수소 토치(16)가 소스가스의 입구부에서 출구부쪽으로 천천히 이송하면서 Si, Ge 등의 반응가스를 O_2 와 반응시켜 SiO_2 , GeO_2 를 적절한 비율로 튜브(14) 내부에 증착시켜서 코어와 클래드를 형성한다.

<24> 도 2는 도 1에서 점선으로 표시된 부분을 확대하여 도시하는 것으로서, O_2 와 반응한 반응가스가 튜브(14)의 내벽에 증착되는 과정을 보다 자세히 도시하고 있다.

<25> MCVD 공법에서는 산소-수소 토치(16)로 인해 튜브(14) 내부에 수산기가 침투하여, OH손실을 증가시키는 현상이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위한 방법으로 산소-수소 토치(16)를 플라즈마 열원과 같은 비오염 열원으로 교체하는 방법이나 코어와 클래드의 경계지점에 배리어층을 형성하여 수산기의 코어로의 침투를 줄이는 등의 방법이 시도되어 왔다.

<26> 본 발명의 출원인은 대한민국 특허출원번호 제10-2002-39360호에서 산소-수소 토치를 사용하면서, 기존에 증착공정만으로 코어와 클래드를 형성하던 공정을 수탕-탈수-소결로 분리하여 탈수 공정을 수행함으로써 1385nm대역에서 0.33dB/km 이하의 광손실을 얻도록 한 기술을 제안한 바 있다.

<27> 상술한 특허출원에서는 종래의 MCVD 공법에 탈수산화 공정을 적용하여, OVD, VAD 공법의 경우에서와 유사하게, 기존에 한번에 수행되어지던 증착공정에 탈수 공정을 추가

하여 수행한다. 상술한 특허출원에서 제안된 바 있는 탈수공정이 추가된 MCVD 공법을 도 3 내지 도 5를 참조하여 간략하게 설명하면 다음과 같다.

- <28> 상술한 종래의 MCVD 공법은 먼저, 도 3에 도시된 것처럼, 튜브(14)의 내부에 큰 입자의 SiO_2 를 수트(soot)상태로 주입하면서 토치(16)를 이용하여 튜브(14)를 $1200^\circ\text{C} \sim 1600^\circ\text{C}$ 의 온도로 가열하여 수트를 튜브(14)의 내벽에 증착시킨다.
- <29> 이후 도 4에 도시된 것처럼, 염소, 산소, 헬륨 등 탈수 가스를 적절한 비율로 배합하여 튜브(14) 내로 유입시키면서 토치(16)를 이용하여 튜브(14)를 $500^\circ\text{C} \sim 1300^\circ\text{C}$ 사이의 온도로 가열하여 탈수 공정을 수행한다. 이 과정에서 튜브(14) 내에 존재하는 Si-OH 는 Cl_2 와 반응하여 HCl 을 생성함으로써 제거된다.
- <30> 다음으로, 도 5에 도시된 것처럼, 토치(16)를 이용하여 튜브(14)를 1700°C 이상의 온도로 가열함으로써 튜브(14)의 내벽에 증착된 입자를 소결시킨다.
- <31> 이 과정들을 반복하여 클래드 및 코어를 만든 후 붕괴(Collapse) 과정을 통해 튜브(14) 내부의 공간을 없앤다.
- <32> 이와 같은 과정을 통해 제작된 1차 프리폼은 OH버너의 사용으로 표면에 OH농도가 높기 때문에 C_2F_6 등을 사용하여 표면을 에칭함으로써 표면의 수산기를 제거하게 된다.
- <33> 기존 MCVD 공법의 문제점은, 튜브(14) 내부의 오염이 열원으로 인한 수산기(OH)의 유입뿐 아니라 증착과정에 투입하는 가스 내부에도 수산기 소스가 존재하여, 그것이 1385nm 대역에서의 수산기에 의한 광흡수 손실을 높이는 원인이 된다는 것이다.
- <34> 이를 해결하기 위해 상술한 특허출원된 탈수 공법은 OVD나 VAD 공법과는 달리, 하나의 토치(16)가 동적으로 움직이며 탈수공정을 수행한다. 즉, 상술한 기술은 밀폐된

챔버 내부에 수트 상태로 증착된 프리폼을 집어넣고 정적으로 프리폼을 1200℃~1300℃로 가열하는 OVD, VAD공법과는 차이가 있다.

<35> 도 6에 도시된 그래프는 토치(16)의 위치에 따른 튜브(14) 외벽의 온도 분포를 나타낸다. 튜브(14) 내부의 온도는 튜브(14) 내의 유동으로 인해 그래프 상에서 좀 더 우측으로 천이하게 된다.

<36> 토치(16)가 종단으로 이동할 경우 튜브(14)의 전단부는 내부 유동과 외부 복사의 영향으로 탈수온도 이하로 내려가게 된다. 따라서 이 부분에서 유입되는 탈수가스에 수소(H)나 수산기(OH)화합물이 포함되어 있을 경우, 탈수된 부분에 다시 오염이 일어날 가능성이 있다. 즉, 탈수반응의 효과가 온도와 시간에 의존하며 SiO_2 가 친수성이 있다는 점을 고려하면, 800K이하의 영역은 수산기로 인해서 오염될 수 있다.

<37> 이러한 현상이 도 7a 내지 도 7d에 도식적으로 나타나 있다. 즉, 도 7a에서처럼 튜브(14) 내에 SiO_2 , GeO_2 등의 반응가스가 수소(H)나 수산기(OH)화합물과 같은 오염원과 함께 주입된 후 토치(16)에 의해 1200℃~1600℃의 고온으로 가열되며 증착공정이 이루어지고, 그 후 도 7b 및 도 7c에 순차적으로 도시된 것처럼 500℃~1300℃의 온도로 가열하면서 탈수공정이 일어난다. 그러나 이때, 튜브(14)의 전단부는 도 7b에 도시된 탈수공정 초반에는 500℃~1300℃의 온도로 가열되나, 토치(16)가 튜브(14)의 후반부로 이동하는 탈수공정의 후반(도 7c)에는 직접적인 열원이 없어 500℃ 이하의 온도로 내려가게 된다. 그러나, 탈수공정 과정에서도 튜브의 내부에는 He, Cl_2 , O_2 등의 탈수가스와 함께 수소(H)나 수산기(OH)화합물과 같은 오염원이 주입되기 때문에, 500℃ 이하로 내려간 튜브(14)의 전반부는 재오염이 가능한 구간이 된다. 이와 같은 재오염 가능구간은

이후 도 7d에 도시된 소결공정에서 토치(16)에 의해 1700℃ 이상의 고온으로 가열되면서 실리카 입자와 함께 소결되어 이후 완성된 광섬유의 품질 저하의 원인이 된다.

<38> 또한, 상술한 MCVD 공법은 탈수 반응이 토치(16) 근방의 고온 영역에서 주로 일어나기 때문에, 전체적인 영역에서 탈수반응이 일어나는 VAD, OVD 공법에 비해 상대적으로 반응효율을 제어하기 힘들다는 단점도 있다..

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<39> 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로서, 수정화학기상증착(Modified Chemical Vapor Deposition; MCVD) 공법에서 탈수공정동안 튜브 내의 온도 구배를 일정하게 유지함으로써 수산기의 제거를 위한 탈수공정의 효율을 높일 수 있는 프리히팅 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

<40> 본 발명의 다른 목적은 MCVD 공법의 증착공정, 탈수공정 및 소결공정에 범용적으로 적용될 수 있는 프리히팅 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

<41> 본 발명의 또 다른 목적은 상술한 MCVD 공법의 프리히팅 방법을 구현하기 위한 프리히팅 방법을 제공하는데 있다.

【발명의 구성 및 작용】

<42> 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른 수정화학기상증착(Modified Chemical Vapor Deposition; MCVD) 공법에서 효율적인 탈수공정을 위한 프리히팅 방법은 실리카 입자가 내벽에 증착된 튜브 내에 공급되는 탈수 가스를 600℃~1200℃의 온도로 미리 가열하여 상기 튜브 내의 온도를 500℃ 이상이 되도록 유지하도록 수행된다.

- <43> 바람직하게, 상기 탈수 가스를 미리 가열하는 위치는 상기 탈수 가스가 유입되는 상기 튜브의 전단부 부근일 수 있으며, 또는 상기 탈수 가스를 상기 튜브로 공급하는 가스 공급라인의 소정 위치일 수도 있고, 또는 상기 탈수 가스를 미리 가열하는 위치는 상기 튜브가 회전 가능하게 설치되고 외부의 가스 공급라인으로부터 상기 튜브로 공급되는 탈수 가스가 지나가는 경로가 형성된 선반의 주축대 내부일 수도 있다.
- <44> 이때, 상기 탈수 가스를 미리 가열하는 공정은 프리히터에 의해 수행되고, 상기 프리히터는 열량 조절이 가능한 것이 바람직하다.
- <45> 또한, 상기 프리히터의 인근에는 상기 프리히터의 열로부터 주변 기구를 보호하기 위한 방열판이 설치되는 것이 바람직하다.
- <46> 본 발명의 다른 측면에 따르면, MCVD 공법에 있어서, 선반의 주축대와 말단축대 사이에 회전 가능하게 설치된 튜브 내에 소정의 가스를 주입하는 공정 중에, 상기 튜브 내에 소정의 가스를 주입하면서 상기 튜브를 따라 이송하는 토치를 이용하여 상기 튜브를 가열함과 동시에, 상기 튜브 내에 공급되는 소정의 가스를 상기 이송 토치의 가열온도와 같거나 낮은 온도로 미리 가열하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 방법이 제공된다.
- <47> 바람직하게, 상기 공정은 상기 튜브 내에 반응가스를 주입하여 상기 튜브의 내벽에 증착시키는 증착공정이고, 상기 반응가스는 상기 튜브의 내부 온도를 500℃ 이상으로 유지하도록 상기 튜브에 주입되기 전에 미리 가열될 수 있다.
- <48> 다른 적용예로서, 상기 공정은 상기 튜브 내에 증착된 실리카 입자를 소결시키는 소결 공정이고, 상기 튜브 내에는 상기 튜브의 내부 온도를 500℃ 이상으로 유지하도록 미리 가열된 탈수 가스가 공급될 수도 있다.

<49> 이때, 상기 튜브 내로 공급되는 가스를 미리 가열하는 위치는 상기 가스가 유입되는 상기 튜브의 전단부 부근일 수 있으며, 다른 대안으로서 상기 튜브 내로 공급되는 가스를 미리 가열하는 위치는 상기 가스를 상기 튜브로 공급하는 가스 공급라인의 소정 위치일 수도 있고, 또 다른 대안으로서 상기 튜브 내로 공급되는 가스를 미리 가열하는 위치는 상기 튜브가 회전 가능하게 설치되고 외부의 가스 공급라인으로부터 상기 튜브로 공급되는 가스가 지나가는 경로가 형성된 상기 선반의 주축대 내부일 수 있다.

<50> 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 선반; 선반에 소정 간격을 두고 각각 설치되는 주축대 및 말단축대; 상기 주축대와 말단축대 사이에 회전 가능하게 설치되는 중공형 튜브; 상기 튜브의 하부에서 상기 튜브의 일단부로부터 타단부까지 왕복 이송하며 상기 튜브를 가열하는 토치; 상기 주축대에 설치되고 상기 주축대를 통해 상기 튜브와 서로 연통되어 외부로부터 상기 튜브의 내부로 가스를 주입하기 위한 가스 주입라인; 및 상기 말단축대에 설치되어 상기 튜브의 내부로부터 가스를 외부로 배출하기 위한 가스 배출라인을 포함하고, 상기 튜브로 공급되는 가스를 미리 가열하기 위한 프리히터가 상기 가스의 공급경로 상에 설치되는 MCVD 공법에서의 프리히팅 장치가 제공된다.

<51> 바람직하게, 상기 프리히터는 상기 탈수 가스가 유입되는 상기 튜브의 전단부 부근에 설치되고, 상기 프리히터와 상기 주축대 사이에는 상기 프리히터의 열로부터 상기 주축대를 보호하기 위한 방열판이 설치된다.

<52> 다른 대안으로서, 상기 프리히터는 상기 가스 공급라인의 소정 위치에 설치되고, 상기 프리히터와 상기 주축대 사이에는 상기 프리히터의 열로부터 상기 주축대를 보호하기 위한 방열판이 설치될 수 있다.

- <53> 또 다른 대안으로서, 상기 프리히터는 상기 주축대 내부의 가스 공급경로에 설치되고, 상기 주축대 내부의 가스 공급경로는 내열소재로 제작될 수도 있다.
- <54> 이때, 상기 프리히터는 열량 조절이 가능한 것이 바람직하다.
- <55> 이하 첨부된 도면을 참조로 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다. 따라서, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- <56> 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 수정화학기상증착(Modified Chemical Vapor Deposition; MCVD) 공법에 사용되는 프리히팅 장치의 구성을 보여주는 도면이다. 본 발명의 프리히팅 장치는 기존의 MCVD 공법용 설비에 부가적으로 설치되는 일부 부품만일 지칭할 수도 있으나, 후술되는 설명에서 프리히팅 장치는 일반적인 MCVD 공법용 설비의 전체 또는 일부를 포함하는 개념인 것으로 이해하여야 한다.
- <57> 도 8을 참조하면, 본 발명의 프리히터 장치는 먼저 설비의 기초가 되는 선반(20)을 포함하고, 선반(20)의 양측에는 각각 주축대(22)와 말단축대(23)가 설치된다. 주축대(22)와 말단축대(23)는 소정의 높이를 가지며, 그 사이에는 내부가 비어 있는 원통형의 튜브(24)가 설치된다. 튜브(24)는 주축대(22)와 말단축대(23) 사이에서 축을 중심으로 회전 가능하다.

- <58> 튜브(24)와 인접한 위치, 바람직하게는 튜브(24)의 하부에는 토치(26)가 설치된다. 토치(26)는 또한 튜브(24)와 평행하게 설치된 토치급송라인(28)을 통해서 튜브(24)의 일단부로부터 타단부까지 왕복이동하면서 튜브(24)를 가열할 수 있다. 또한, 토치(26)는 튜브(24)에 대한 가열온도를 조절할 수 있도록 열량을 조절 가능한 것이 바람직하다. 토치급송라인(28)은 바람직하게는 주축대(22)와 말단축대(23)의 내벽에 고정된다.
- <59> 주축대(22)에는 또한 외부로부터 튜브(24)의 내부로 가스를 공급하는 가스 주입라인(30)이 설치된다. 가스주입라인(30)은 주축대(22)를 통해 튜브(24)의 내부로 Si, Ge 등의 반응가스 및 He, Cl₂, O₂ 등의 탈수가스를 공급하는 역할을 수행한다. 또한, 도시되지는 않았지만, 상술한 가스 공급을 위해서 주축대(22) 내에는 튜브(24)와 가스주입라인(30)을 서로 연결하는 별도의 가스이동통로가 형성될 수 있다.
- <60> 말단축대(23)에는 상술한 가스주입라인(30)에 대응하는 가스배출라인(32)이 설치된다. 가스배출라인(32)은 튜브(24)의 내부를 통과한 가스를 외부로 배출하는 역할을 한다. 또한, 이를 위하여 말단축대(23)의 내부에는 별도의 가스이동통로(미도시)가 형성될 수 있음은 물론이다.
- <61> 다음으로, 튜브(24)로 공급되는 가스의 공급경로 상에는 프리히터(40)가 설치된다. 본 실시예에서 프리히터(40)는 가스가 유입되는 튜브(24)의 전단부 근처에 설치된다. 즉, 도 8에 도시된 것처럼, 프리히터(40)는 주축대(22)와 인접한 영역에서 직접적으로 튜브(24)를 가열하도록 구성된다.
- <62> 튜브(24)의 전단부 부근은 특히 탈수공정 동안에 토치가 후단부 근처로 이동할 때 온도가 500℃ 이하로 떨어져서 재오염이 가능한 영역이었다. 그러나, 상술한 프리히터

(40)는 튜브(24)의 전단부 부근을 가열함으로써 튜브(24) 내로 유입되는 가스를 적절한 온도로 유지시키는 역할을 한다.

<63> 또한, 프리히터(40)와 주축대(22) 사이에는 별도의 방열판(42)을 설치할 수 있다. 방열판(42)은 프리히터(40)의 열이 주축대(22) 및 튜브(24)를 주축대(22)에 고정시키는 커플러나 베어링과 같은 부속품에 영향을 미치는 것을 방지하기 위한 것이다. 이때, 방열판(42)에는 냉매를 순환시킴으로써 주변 기구를 보다 효과적으로 보호하도록 구성될 수도 있다.

<64> 프리히터(40)는 산소-수소 버너와 같은 화학적인 열원을 사용할 수도 있으며, 실리카 카바이드나 지르코니아와 같은 전기적인 열원을 사용할 수도 있다. 또한, 프리히터(40)는 튜브(24)에 주입되는 가스를 가열할 때 사용자가 작업조건 및 주변환경을 고려하여 임의로 열량을 조절할 수 있도록 구성되는 것이 바람직하다.

<65> 다음은, 상술한 구성을 갖는 본 발명의 프리히팅 방법 및 원리에 대해 설명한다. 후술되는 프리히팅 과정은 MCVD 공법의 탈수공정을 대표적인 예로 들어 설명한다.

<66> MCVD 공법의 탈수공정을 위해서는 가스주입라인(30)을 통해 튜브(24) 내로 He, Cl₂, O₂ 등의 탈수가스 등의 탈수가스를 공급하면서 토치(26)를 통해 튜브(24)의 내부를 대략 500℃~1500℃의 온도로 가열한다. 토치(26)는 튜브(24)를 가열할 때 토치공급라인(28)을 따라서 튜브(24)의 일단부로부터 타단부로 이송한다.

<67> 또한, 프리히터(40)는 튜브(24)의 전단부에 인접한 영역에서 튜브(24) 내로 주입되는 탈수가스를 대략 600℃~1200℃로 미리 가열한다. 즉, 튜브(24) 내로 주입된 탈수가스는 토치(26)에 의해서 가열되기 전에 프리히터(40)에 의해 충분히 높은 온도로 가열된

다. 특히, 프리히터(40)는 토치(26)가 튜브(24)의 타단부, 즉 말단축대(23)에 인접한 곳까지 이동하더라도 튜브(24)의 전단부 및 그곳을 통과하는 탈수가스를 지속적으로 가열하며, 그로 인해 튜브(24) 내부의 온도는 전체적으로 800℃ 이상으로 유지될 수 있다. 따라서, 프리히터(40)에 의한 초기예열에 의해 튜브(24) 내부는 전체적으로 온도가 상승하게 되며, 결과적으로 탈수반응은 튜브(24)의 전체 영역에서 동시에 지속적으로 일어날 수 있게 된다.

<68> 상술한 과정에 의해 튜브(24) 내부의 온도가 전체적으로 상승함에 의해, 종래에 500℃ 이하로 온도가 하강한 튜브의 전반부 영역에서 탈수가스와 함께 튜브(24) 내로 주입된 수소(H)나 수산기(OH)화합물이 재오염되는 현상을 방지할 수 있게 된다. 또한, 상술한 원리에 의해 본 발명의 프리히팅 장치는 튜브(24)의 전단부로부터 주입되는 수소(H)나 수산기(OH)화합물을 염소(Cl)와 지속적으로 반응시켜서 제거하게 되며, 이러한 방법을 통해 1200~1600nm의 모든 파장대역에 걸쳐 광흡수손실이 0.33dB/km 이하인 양질의 광섬유를 안정적으로 제조하는 것이 가능하게 된다.

<69> 도 9는 상술한 본 발명의 프리히팅 방법에 의해 구현된 토치(26)의 위치에 따른 튜브(24) 외벽 온도분포를 나타내는 그래프이다. 이 그래프는 튜브(24)의 전단부에 설치된 프리히터(40)가 1200K의 열원을 공급하는 조건으로 실험한 결과이다. 이 그래프를 참조하면, 프리히터를 사용하지 않는 종래의 실험결과(도 6 참조)에 비해 튜브의 내부온도가 전체적으로 상승했다는 것을 알 수 있다. 특히, 오염발생 가능성의 기준이 되는 800K 이하로 온도가 하강하는 영역이 종래에 비해 획기적으로 줄어들었으며, 이는 곧 본 발명을 사용하여 수행된 탈수공정에서는 수소(H)나 수산기(OH)화합물에 의한 재오염이 거의 없거나 크게 줄어든다는 것을 의미한다.

<70> 실제로 종래에 사용되던 탈수공법에서는 튜브의 내부온도가 부분적으로 400K까지 감소하는 곳도 있으며, 이는 광손실 값이 0.4dB/km까지 증가하는 원인이 되었다. 그러나, 본 발명에서는 전체적인 튜브의 온도, 특히 온도가 가장 감소하던 튜브의 전단부 온도가 프리히터(40)에 의해 보다 높은 온도범위로 유지됨으로써 1200~1600nm의 모든 파장대역, 특히 1385nm 파장대역에서, 0.33dB/km 이하의 광손실을 유지하는 수산기가 없는(OH-free) 광섬유를 재현성 있게 제조할 수 있다. 따라서, 본 발명은 1200nm~1600nm의 전체 파장대역에서 데이터 전송이 가능한 광섬유를 단순한 설비변경에 의해서 손쉬운 방법으로 대량생산할 수 있으며, 이로서 광섬유의 품질과 생산성을 비약적으로 향상시킬 수 있다.

<71> 지금까지, 본 발명의 프리히팅 방법은 MCVD 공법의 탈수공정을 대표적인 예로 들어 설명하였다. 그러나, 본 발명의 원리는 반드시 탈수공정에만 한정되어 사용되는 것은 아니며, 다른 공정에도 동일한 구성을 이용하여 유사한 프리히팅 원리를 적용할 수 있다. 특히, 본 발명의 프리히팅 원리는 MCVD 공법의 증착공정 및 소결공정에 적용되었을 때 우수한 효과를 발휘한다.

<72> 예를 들어, 본 발명이 MCVD 공법의 증착공정에 적용되는 경우를 살펴보면 다음과 같다. 일반적으로 증착공정을 위해서는, 도 8에 도시된 일반적인 구성을 그대로 채용할 경우, 가스주입라인(30)을 통해 튜브(24) 내로 Si, Ge 등의 반응가스를 주입하고, 튜브(24)를 따라 이송하는 토치(26)가 튜브(24)를 가열하여 상기 반응가스를 O₂와 반응시키며, 그로써 SiO₂, GeO₂를 적절한 비율로 튜브(24) 내부에 증착시켜서 코어와 클래드를 형성한다. 이때, 토치(26)의 가열온도는 대략 1200℃~1500℃이다.

- <73> 상술한 구성에서 본 발명의 프리히터(40)가 튜브(24)의 전단부 부근을 가열한다. 이때, 프리히터(40)의 가열온도는 토치(26)의 가열온도와 같거나 다소 낮은 온도, 바람직하게는 상술한 탈수 공정의 예와 동일한 600℃~1200℃로 설정된다. 그러면, 프리히터(40)에 의해 튜브(24) 내부 온도는 전체적으로 보다 균일한 온도분포를 갖게 되며, 그로 인해 실리카 입자의 증착효율을 높일 수 있게 된다. 또한, 프리히터(40)에 의해 튜브(24)의 내부가 국부적으로 500℃ 이하로 내려가는 것을 상당부분 방지하게 됨으로써, 본 발명은 반응가스와 함께 튜브(24) 내로 주입된 수소(H)나 수산기(OH)화합물에 의해 실리카 입자의 증착층이 오염되는 것을 방지할 수 있다.
- <74> 또한, 본 발명의 원리가 MCVD 공법의 소결공정에 적용된 경우는 다음과 같다. 일반적인 소결공정을 도 8에 도시된 일반적인 구성을 채용하여 설명하면, 실리카 입자가 튜브(24)의 내벽에 증착된 상태에서 토치(26)가 튜브(24)를 따라 이동하면서 대략 1700℃ 이상의 온도로 튜브(24)를 가열하여 증착된 수트 입자를 소결시킨다. 이때, 튜브(24)에는 가스주입라인(30)을 통해 He, Cl₂, O₂ 등의 탈수가스를 공급하여 소결과 동시에 탈수를 진행할 수 있다.
- <75> 본 발명의 프리히터(40)는 튜브(24) 내로 주입되는 탈수가스를 토치(26)에 의해 가열되기 전에 미리 일정한 온도, 바람직하게는 상술한 탈수 공정의 예와 동일한 600℃~1200℃로 가열한다. 따라서, 프리히터(40)에 의해 튜브(24) 내의 온도는 전체적으로 보다 균일한 온도분포를 갖게 되며, 특히 500℃ 이하로 온도가 내려가는 영역이 거의 없거나 획기적으로 줄어들게 되어, 탈수가스와 함께 튜브(24) 내로 주입된 수소(H)나 수산기(OH)화합물에 의해 소결되는 수트 입자가 재오염되는 것을 방지할 수 있다.

- <76> 도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 프리히팅 장치를 도시한다. 본 실시예는 앞선 실시예와 거의 유사하나 다만 프리히터 및 그와 관련된 일부 부품의 설치위치 및 구조에서 차이가 있다.
- <77> 본 실시예에서, 프리히터(50)는 주축대(22)의 내부에 설치된다. 일반적으로, 주축대(22)는 튜브(24)의 일단을 회전 가능하게 결속함과 동시에 가스주입라인(30)으로부터 튜브(24)의 내부로 통하는 가스이동경로(52)가 그 내부에 마련되어 있다. 본 실시예에서 프리히터(50) 상술한 주축대(22)의 가스이동경로(52)와 인접한 곳에 설치되며, 가스이동경로(52)를 통해 유동하는 가스를 가열하게 된다.
- <78> 이때, 주축대(22)의 가스이동경로(52)는 프리히터(50)로부터의 고온에 견디기 위해 내열소재로 제작되는 것이 바람직하다.
- <79> 본 실시예의 프리히팅 장치는 비록 프리히터(50)의 설치위치가 앞선 실시예와 다소 차이가 있으나, 튜브(24) 내로 주입되는 가스의 이동경로 상에 설치된다는 점에서 실질적으로 앞선 실시예와 동일한 원리 및 동일한 효과를 갖는다. 또한, 본 실시예에 의해 구성된 프리히팅 장치를 MCVD 공법의 탈수공정에 적용할 경우, 도 9에 도시된 그래프와 거의 유사한 결과치를 얻을 수 있음은 물론이다.
- <80> 또한, 본 발명의 또 다른 실시예로서, 프리히터는 도 11에 도시된 것처럼 주축대(22)의 외부에 위치하는 가스주입라인(30)에 설치될 수도 있다. 이 경우, 프리히터(60)는 가스주입라인(30)을 지나는 기체를 미리 가열하게 되며, 그 기체는 적절한 온도로 가열된 상태로 튜브(24) 내로 유입된다.

- <81> 이때, 프리히터(60)의 설치위치는 불필요한 열손실을 피하기 위해 주축대(22)와 최대한 인접한 곳에 위치하는 것이 바람직하다. 또한, 이러한 프리히터(60)의 열에 의해 주축대(22)가 손상되는 것을 방지하기 위해, 프리히터(60)와 주축대(22) 사이에는 방열판(62)을 설치할 수 있으며, 이 방열판(62) 주위로 냉매를 흐르도록 구성하여 열전달을 보다 효과적으로 차단할 수도 있다. 또한, 프리히터(60)가 설치되는 영역에서 가스주입라인(30)은 열에 의한 손상을 방지하기 위해 내열성이 뛰어난 재질로 제작되는 것이 바람직하다. 또한 도시된 것처럼, 프리히터(60)가 설치되는 영역에 내열소재로 제작된 별도의 배관(64)을 부가적으로 설치할 수도 있음은 물론이다.
- <82> 본 실시예의 프리히팅 장치 또한 비록 프리히터(60)의 설치위치가 앞선 실시예들과 다소 차이가 있으나, 튜브(24) 내로 주입되는 가스의 이동경로 상에 설치된다는 점에서 실질적으로 앞선 실시예와 동일한 원리 및 동일한 효과를 갖는다. 또한, 본 실시예에 의해 구성된 프리히팅 장치를 MCVD 공법의 탈수공정에 적용할 경우, 도 9에 도시된 그래프와 거의 유사한 결과치를 얻을 수 있음은 물론이다.
- <83> 상술한 본 발명의 각 실시예를 적용하여 제작된 광섬유는 1200~1600nm의 모든 파장대역, 특히 1385nm 파장대역에서의 광흡수손실이 0.33dB/km 이하인 고품질의 광섬유를 얻을 수 있게 된다. 본 발명에 의해 제작된 광섬유의 파장대역별 광손실을 나타내는 그래프가 도 12에 도시되어 있다.
- <84> 이상과 같이, 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술사상과 아래에 기재될 특허청구범위의 균등범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능함은 물론이다.

【발명의 효과】

- <85> 이와 같이 구성된 본 발명에 따른 MCVD 공법에서의 프리히팅 장치 및 방법은 탈수 공정에서 튜브 내부의 온도를 전체적으로 보다 균일하게 함으로써 튜브 전반에 걸쳐 동시에 탈수가 진행될 수 있으며, 특히 튜브 내부의 온도가 국부적으로 500℃ 이하로 내려가는 것을 최대한 억제함으로써 탈수가스와 함께 유입된 불순물에 의한 재오염을 방지할 수 있다는 장점이 있다.
- <86> 또한, 본 발명의 프리히팅 방법은 튜브의 내부온도를 일정수준 이상으로 항상 유지하여 수소 및 수산기 제거효과가 보다 탁월하며, 그로 인해 1200~1600nm의 모든 파장대역, 특히 1385nm 파장대역에서의 광흡수손실이 0.33dB/km 이하인 고품질의 광섬유를 얻을 수 있게 된다.
- <87> 또한, 본 발명의 프리히팅 장치는 설비의 단순한 구조변경에 의해서 용이하게 구현될 수 있으며, 고효율의 탈수과정을 토치 및 프리히터를 이용하여 신속하게 수행함으로써 매우 높은 생산성을 가질 수 있다는 장점이 있다.
- <88> 또한, 본 발명의 프리히팅 장치 및 방법은 MCVD 공법의 탈수공정은 물론 증착공정과 소결공정에서도 적용될 수 있는 범용성을 가진다. 특히, 본 발명이 MCVD 공법의 증착공정에 적용될 경우, 실리카 입자의 증착효율을 높이는 부수적인 효과를 얻는 것도 가능하다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

수정화학기상증착(Modified Chemical Vapor Deposition; MCVD) 공법의 탈수공정에 있어서,

실리카 입자가 내벽에 증착된 튜브 내에 공급되는 탈수 가스를 600℃~1200℃의 온도로 미리 가열하여 상기 튜브 내의 온도를 500℃ 이상이 되도록 유지하는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서 효율적인 탈수공정을 위한 프리히팅 방법.

【청구항 2】

제 1항에 있어서,

상기 탈수 가스를 미리 가열하는 위치는 상기 탈수 가스가 유입되는 상기 튜브의 전단부 부근인 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서 효율적인 탈수공정을 위한 프리히팅 방법.

【청구항 3】

제 1항에 있어서,

상기 탈수 가스를 미리 가열하는 위치는 상기 탈수 가스를 상기 튜브로 공급하는 가스 공급라인의 소정 위치인 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서 효율적인 탈수공정을 위한 프리히팅 방법.

【청구항 4】

제 1항에 있어서,

상기 탈수 가스를 미리 가열하는 위치는 상기 튜브가 회전 가능하게 설치되고 외부의 가스 공급라인으로부터 상기 튜브로 공급되는 탈수 가스가 지나가는 경로가 형성된 선반의 주축대 내부인 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서 효율적인 탈수공정을 위한 프리히팅 방법.

【청구항 5】

제 1항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 탈수 가스를 미리 가열하는 공정은 프리히터에 의해 수행되고, 상기 프리히터는 열량 조절이 가능한 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서 효율적인 탈수공정을 위한 프리히팅 방법.

【청구항 6】

제 5항에 있어서,

상기 프리히터의 인근에는 상기 프리히터의 열로부터 주변 기구를 보호하기 위한 방열판이 설치되는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서 효율적인 탈수공정을 위한 프리히팅 방법.

【청구항 7】

수정화학기상증착(Modified Chemical Vapor Deposition; MCVD) 공법에 있어서,

선반의 주축대와 말단축대 사이에 회전 가능하게 설치된 튜브 내에 소정의 가스를 주입하는 공정중에, 상기 튜브 내에 소정의 가스를 주입하면서 상기 튜브를 따라 이송하는 토치를 이용하여 상기 튜브를 가열함과 동시에, 상기 튜브 내에 공급되는 소정의 가

스를 상기 이송 토치의 가열온도와 같거나 낮은 온도로 미리 가열하는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 방법.

【청구항 8】

제 7항에 있어서,

상기 공정은 상기 튜브 내에 반응가스를 주입하여 상기 튜브의 내벽에 증착시키는 증착공정이고,

상기 반응가스는 상기 튜브의 내부 온도를 500℃ 이상으로 유지하도록 상기 튜브에 주입되기 전에 미리 가열되는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 방법.

【청구항 9】

제 7항에 있어서,

상기 공정은 상기 튜브 내에 증착된 실리카 입자를 소결시키는 소결 공정이고,

상기 튜브 내에는 상기 튜브의 내부 온도를 500℃ 이상으로 유지하도록 미리 가열된 탈수 가스가 공급되는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 방법.

【청구항 10】

제 7항 내지 제 9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 튜브 내로 공급되는 가스를 미리 가열하는 위치는 상기 가스가 유입되는 상기 튜브의 전단부 부근인 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 방법.

【청구항 11】

제 10항에 있어서,

상기 탈수 가스를 미리 가열하는 공정은 프리히터에 의해 수행되고, 상기 프리히터는 열량 조절이 가능한 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 방법.

【청구항 12】

제 11항에 있어서,

상기 프리히터의 인근에는 상기 프리히터의 열로부터 주변 기구를 보호하기 위한 방열판이 설치되는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 방법.

【청구항 13】

제 7항 내지 제 9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 튜브 내로 공급되는 가스를 미리 가열하는 위치는 상기 가스를 상기 튜브로 공급하는 가스 공급라인의 소정 위치인 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 방법.

【청구항 14】

제 13항에 있어서,

상기 가스를 미리 가열하는 공정은 프리히터에 의해 수행되고, 상기 프리히터는 열량 조절이 가능한 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 방법.

【청구항 15】

제 14항에 있어서,

상기 프리히터의 인근에는 상기 프리히터의 열로부터 주변 기구를 보호하기 위한 방열판이 설치되는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 방법.

【청구항 16】

제 7항 내지 제 9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 튜브 내로 공급되는 가스를 미리 가열하는 위치는 상기 튜브가 회전 가능하게 설치되고 외부의 가스 공급라인으로부터 상기 튜브로 공급되는 가스가 지나가는 경로가 형성된 상기 선반의 주축대 내부인 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 방법.

【청구항 17】

제 16항에 있어서,

상기 탈수 가스를 미리 가열하는 공정은 프리히터에 의해 수행되고, 상기 프리히터는 열량 조절이 가능한 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 방법.

【청구항 18】

제 17항에 있어서,

상기 프리히터의 인근에는 상기 프리히터의 열로부터 주변 기구를 보호하기 위한 방열판이 설치되는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 방법.

【청구항 19】

선반;

선반에 소정 간격을 두고 각각 설치되는 주축대 및 말단축대;

상기 주축대와 말단축대 사이에 회전 가능하게 설치되는 중공형 튜브;

상기 튜브의 하부에서 상기 튜브의 일단부로부터 타단부까지 왕복 이송하며 상기 튜브를 가열하는 토치;

상기 주축대에 설치되고 상기 주축대를 통해 상기 튜브와 서로 연통되어 외부로부터 상기 튜브의 내부로 가스를 주입하기 위한 가스 주입라인; 및

상기 말단축대에 설치되어 상기 튜브의 내부로부터 가스를 외부로 배출하기 위한 가스 배출라인을 포함하고,

상기 튜브로 공급되는 가스를 미리 가열하기 위한 프리히터가 상기 가스의 공급경로 상에 설치되는 것을 특징으로 하는 수정화학기상증착(Modified Chemical Vapor Deposition; MCVD) 공법에서의 프리히팅 장치.

【청구항 20】

제 19항에 있어서,

상기 프리히터는 상기 탈수 가스가 유입되는 상기 튜브의 전단부 부근에 설치되는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 장치.

【청구항 21】

제 20항에 있어서,

상기 프리히터와 상기 주축대 사이에는 상기 프리히터의 열로부터 상기 주축대를 보호하기 위한 방열판이 설치되는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 장치.

【청구항 22】

제 19항에 있어서,

상기 프리히터는 상기 가스 공급라인의 소정 위치에 설치되는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 장치.

【청구항 23】

제 22항에 있어서,

상기 프리히터와 상기 주축대 사이에는 상기 프리히터의 열로부터 상기 주축대를 보호하기 위한 방열판이 설치되는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 장치.

【청구항 24】

제 19항에 있어서,

상기 프리히터는 상기 주축대 내부의 가스 공급경로에 설치되는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 장치.

【청구항 25】

제 24항에 있어서,

상기 주축대 내부의 가스 공급경로는 내열소재로 제작되는 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 장치.

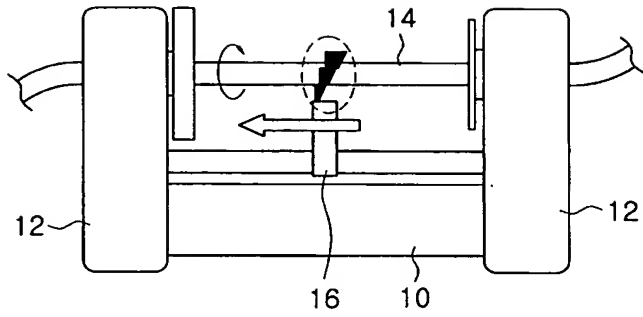
【청구항 26】

제 19항 내지 제 25항 중 어느 한 항에 있어서,

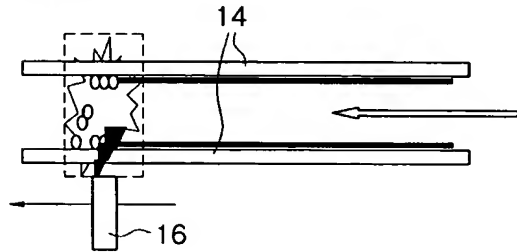
상기 프리히터는 열량 조절이 가능한 것을 특징으로 하는 MCVD 공법에서의 프리히팅 장치.

【도면】

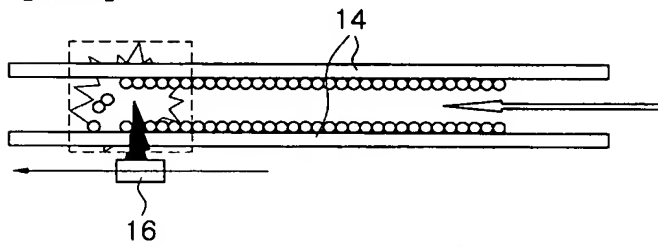
【도 1】



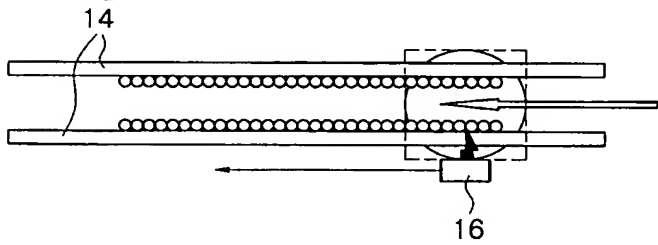
【도 2】



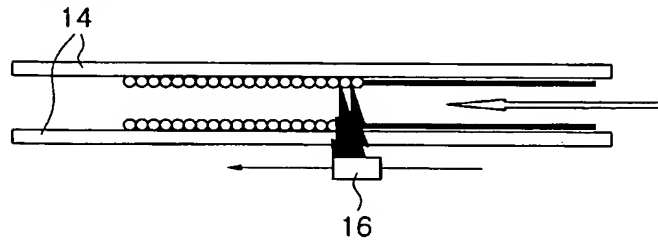
【도 3】



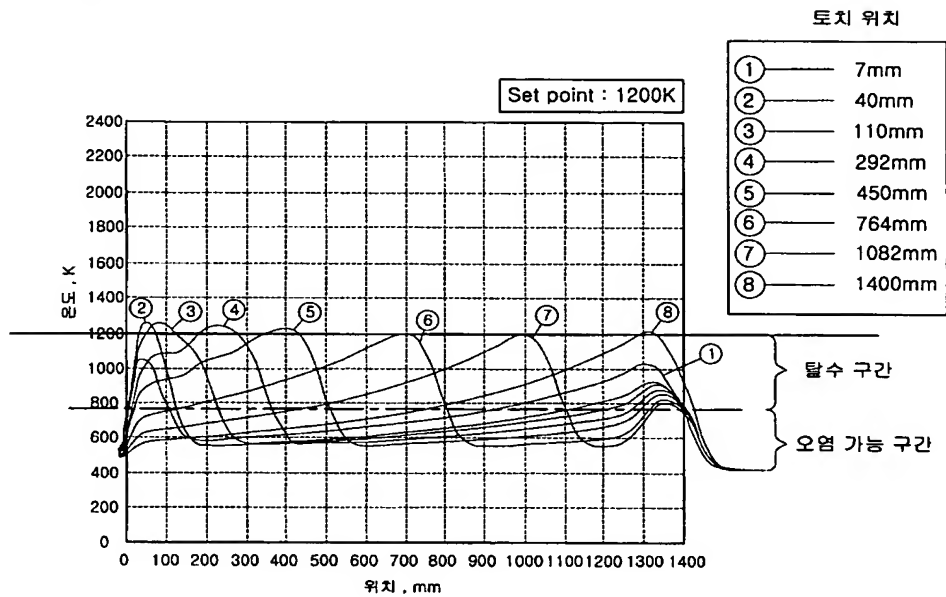
【도 4】



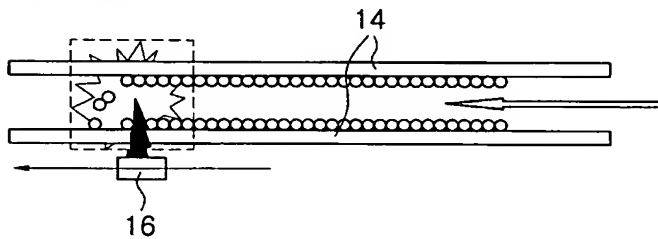
【도 5】



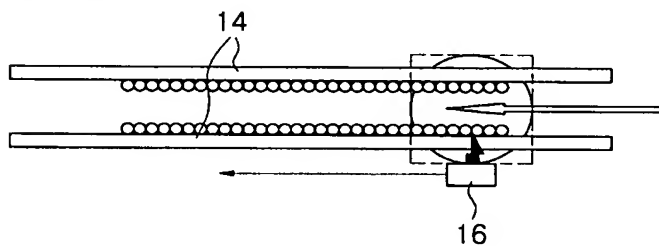
【도 6】



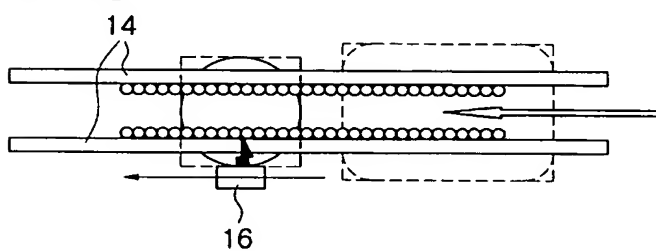
【도 7a】



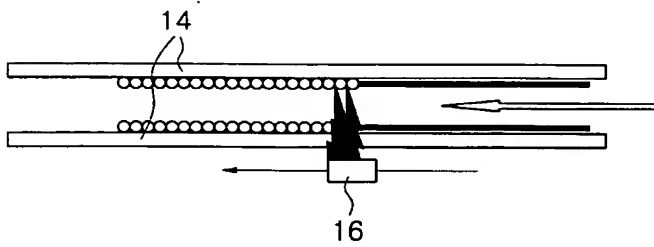
【도 7b】



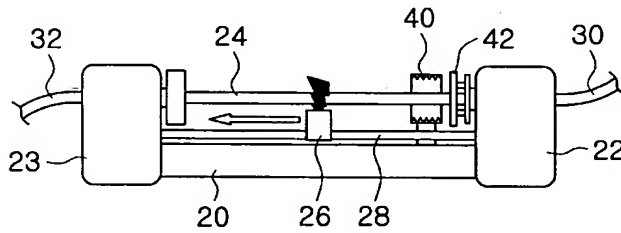
【도 7c】



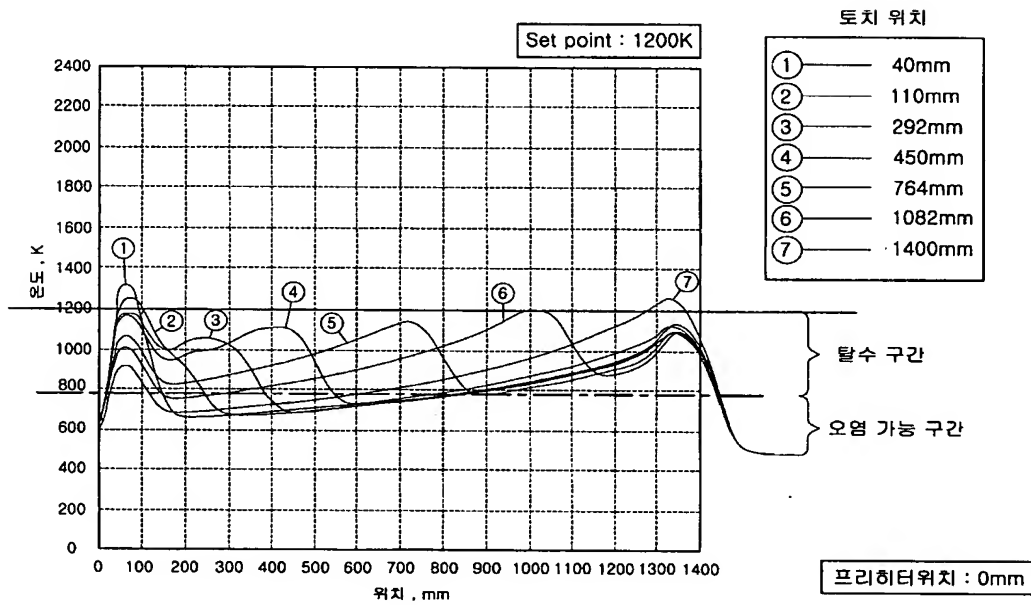
【도 7d】



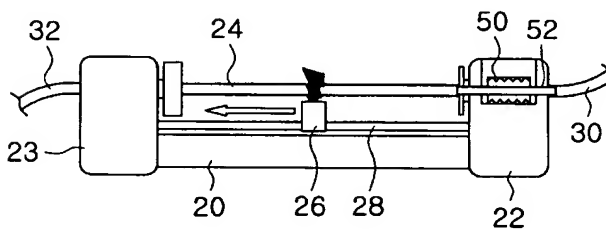
【도 8】



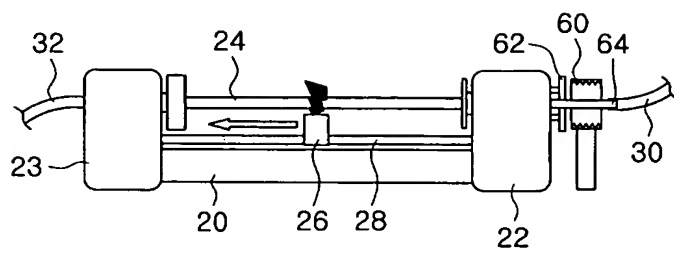
【도 9】



【도 10】



【도 11】



【도 12】

